(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**

(10) **DE 100 19 707 A 1**

(51) Int. Cl.[7]: **H 02 H 7/26**

(21) Aktenzeichen: 100 19 707.8
(22) Anmeldetag: 20. 4. 2000
(43) Offenlegungstag: 25. 10. 2001

DE 100 19 707 A 1

(71) Anmelder:
Peter Lancier Maschinenbau-Hafenhütte GmbH & Co KG, 48167 Münster, DE

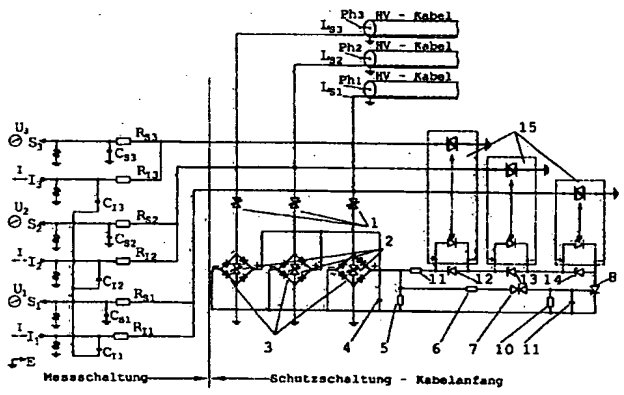
(74) Vertreter:
v. Bezold & Sozien, 80799 München

(72) Erfinder:
Vemmer, Helmut, 42329 Wuppertal, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Sensordraht-Schutzbeschaltung für Hochspannungskabel

(57) Bei einer Sensordraht-Schutzbeschaltung für Hochspannungskabel ist die Sensorader (L_S) am Kabelanfang und/oder Kabelende mit einem verzögerungsfrei ansprechenden Kurzschlussschalter (12 bis 15) verbunden, der einen voll elektronisch wirkenden Schutz sowohl für das Kabel gegen Isolationsdurchschlag der mitgeführten Sensorader als auch für das angeschlossene Sensordraht-Messsystem gegen Überspannungen bildet, die aus kurzen Transientenspannungsspitzen oder länger anstehender Überspannungen aufgrund von Kurzschlussströmen des Kabelsystems resultieren.



DE 100 19 707 A 1

Beschreibung

[0001] Koaxiale Hochspannungskabel werden zunehmend als VPE- bzw. als HV-XLPE-Kabel ausgeführt (Polyethen oder Polyethylen isolierte Kabel).

[0002] Beschädigungen der Kabel im Mantelbereich führen insb. bei Einwirkung von Wasser zu sogenannten "water trees", die bei der hohen elektrischen Feldstärke der Kabel zu einer verminderten Durchschlagsfestigkeit und somit zu einer verkürzten Lebensdauer führen. Um Gefahren, die aus der Undichtigkeit des Kabelmantels resultieren, frühzeitig zu erkennen und zu beseitigen, bevor es zu einem großen Schaden kommt, sind Verfahren bekannt, die einen Sensordraht im Bereich der metallischen Bewehrung des Kabelmantels nutzen, um Wassereintritt zu erkennen. Der Sensordraht ist im trockenen Zustand vollkommen isoliert von der metallischen Bewehrung geführt, die die Abschirmung des Kabels darstellt. Durch Gewebeisolation oder sonstige durchlässige oder perforierte Isolationen des Sensordrahtes ist bei Befeuchtung mit eindringendem Wasser ein niedriger Übergangswiderstand zur geerdeten Abschirmung des Kabelmantels gegeben.

[0003] Fehlerort-Verfahren nutzen den Effekt des einnässenden Sensordrahtes zur Detektion des Wassers und zur Berechnung des Fehlerortes aus den Messdaten des Sensordrahtes. Durch Isolationsmessung des Sensordrahtes zum geerdeten Kabelschirm bzw. direkt zur Erde kann eine Einnässung des Sensordrahtes sofort erkannt werden. Ist der mitgeführte Sensordraht eines Kabels von beiden Kabelenden aus zugänglich, bzw. das Sensorende durch eine leitende Verbindung zum Anfang zurückgeführt, so kann bei einem Fehler bei beidseitiger Speisung durch Spannungs- oder Stromaufteilung am Sensordraht prinzipiell auch der Fehlerort ermittelt werden.

[0004] Bei mehrphasigen Kabelsystemen gemäß **Fig.** 1 ist durch eine Verknüpfung der Sensordrähte A an den Kabelenden mit Brücken B immer eine beidseitige Einspeisung in Form von Schleifenbildungen über eine Ankoppeleinheit C mit einer entsprechenden Spannungs- oder Stromeinspeisung mit Messsignalabgriff möglich, so dass sich ein über eine Zuleitung D angeschlossenes Sensordraht-Mantelüberwachungssystem zur Überwachung von VPE-Hochspannungskabeln anbietet.

[0005] Da es sich um Hochspannungskabel handelt, stellt sich die Forderung, dass einerseits die Messtechnik und andererseits das Hochspannungskabel selbst durch induzierte Spannungen und Ströme im Sensordraht nicht gefährdet wird.

[0006] Die erfinderische Aufgabe besteht somit darin, ein Hochspannungskabelsystem durch Beschaltungsmaßnahmen so zu schützen, dass einerseits das Kabel- und Messsystem vor gefährlichen Überspannungen oder Kurzschlussströmen geschützt ist und andererseits die Schutzmassnahmen so auszuführen, dass die Messfunktion dadurch nicht beeinträchtigt wird. Eine Beeinträchtigung der Messfunktion wäre z. B. gegeben, wenn durch Schutzbeschaltung der Isolationswiderstand des Sensordrahtes gegen Erde im trokkenen Zustand bereits so niederohmig ist, dass ein auftretender Erdfehler nicht mehr erkannt bzw. erst bei extremer Niederohmigkeit sehr spät erkannt würde.

[0007] Die nachfolgend beschriebene Sensordraht-Schutzbeschaltung gemäß **Fig.** 2 und 3 für Hochspannungskabel ist so ausgelegt, dass bei zulässiger höchster Nennstrombelastung des Kabelsystems maximal zugelassene Spannungen im ungeschützten Sensordraht auftreten, die das Kabel nicht gefährden. Die Schutzbeschaltung soll so wirken, dass beim normalen Nennstrombetrieb des Kabelsystems die Sensordrähte hochohmig gegen Erde isolierend

mit dem kontinuierlich arbeitenden Messsystem verbunden sind. Bei Störungen des Kabelsystems, z. B. durch induktive Schalttransienten, Kurzschlussströme oder Blitzschlag, können auch in den Sensordrähten hohe Spannungen auftreten, was jedoch durch eine schnelle Reaktion der Schutzbeschaltung verhindert werden muss. Überspannungsstörungen im Kabelsystem, die es zu beseitigen gilt, werden hier in zwei Kategorien betrachtet:

a) Hochfrequente Transientenstörungen im ns- und µs-Bereich
b) Niederfrequente Überspannungen im ms- bis s-Bereich.

[0008] Hochfrequente Transientenstörungen werden nachfolgend mit speziellen, sehr schnellen bidirektionalen Halbleiterdioden, wie z. B. Transil- **2** oder Trisildioden **4** die wie Z-Dioden ab einer definierten Zündspannung niederohmig werden, unschädlich gemacht. Diese Störungen sind so kurz, dass sie vom Messsystem, dass die Messsignale filtert, nicht registriert werden.

[0009] Bei niederfrequenten, also längeren Überspannungsstörungen, werden die Sensordrähte sowohl am Kabelanfang als auch am Kabelende zum Schutz des Kabels und des Messsystems durch die Schutzbeschaltung massiv geerdet. Der am Kabelanfang und Kabelende geerdete Sensordraht verhält sich dann genau so wie die Abschirmdrähte der VPE-Hochspannungskabel, die am Kabelanfang und Kabelende (Pkt. ⏚) ständig geerdet sind.

[0010] Wird das Kabel ersatzweise als Transformator gesehen, bei dem dertaststromführende Innenleiter die Primärwicklung und die Schirmdrähte in Parallelschaltung die Sekundärwicklung bilden, wobei die Senkundärwicklung durch massive beidseitige Erdung kurzgeschlossen ist, so wird zwar die Spannung zu Null, dafür jedoch ein Strom getrieben, der einige 100 A betragen kann. Der Sensordraht verhält sich transformatorisch gesehen ebenso. Bei Nennstrombetrieb steht eine zulässige Spannung am isolierten Sensordraht, die bei Kurzschlussströmen des Kabels bis zur Abschaltung auf den 100-fachen Wert steigen kann (z. B. von 80 V auf 8000 V). Durch mangelnde Isolationsfestigkeit des Sensordrahtes zu den geerdeten Schirmdrähten kann die Isolation bei derart hohen Spannungen durchschlagen und der Sensordraht unbrauchbar werden. Ein angeschlossenes Messsystem wäre ebenfalls gefährdet, da die Tiefpass-Spannungsteiler aus Widerständen und Kondensatoren in Verbindung mit der Transientenbeschaltung des Messsystems **Fig.** 1 nicht für länger anstehende Überspannung geeignet ist. Für die beschriebene Sensordraht-Schutzbeschaltung besteht also die Aufgabe, bei Überschreiten der vorgegebenen zulässigen Nennspannung den Sensordraht am Kabelanfang und Kabelende extrem niederohmig zu erden und ggf. Wechselströme von etwa 100 bis 200 A für die Zeit bis zur Schnellabschaltung des Kabels zu beherrschen. Das niederohmige Kurzschließen des Sensordrahtes gegen Erde muss zudem so schnell gehen, dass dies auf die zusätzlich angeordnete Transientenschutzbeschaltung abgestimmt ist, d. h. der niederohmige Kurzschluss des Sensordrahtes muss vollzogen sein, bevor der sofort wirkende Transientenschutz der Elemente **1** und **2** thermisch überlastet und zerstört wird.

[0011] Mit Relaisschaltern ist die Aufgabe nicht zu erfüllen, da diese nicht schnell genug schalten. Mit üblichen Thyristor- oder Triac-Halbleiterrelais mit Null-Spannungsschalter ist die Aufgabe auch nicht zu erfüllen, da Halbleiterrelais zur Einschaltstörunterdrückung sogenannte Nullspannungsschalter verwenden, die nur im stromlosen Nulldurchgang der Wechselspannung schalten, was z. B. bei 50-Hz-Wech-

selspannungsnetzen bedeutet, dass alle 10 ms jeweils mit einer neuen Halbwelle geschaltet wird, was ebenfalls zu langsam ist, da eine Kurzschlussstromauslösung mitten in einer vorangehenden Halbwelle nach Passieren des Nulldurchgangs bereits zur Zerstörung des Kabels und des Messsystems geführt

[0012] haben kann. Die nachfolgend beschriebene Schaltung gemäß **Fig.** 2 und 3 ist mit einer spezifischen Zündschaltung in der Lage, auch beim verketteten Drehstromsystem mit einem Dreifach-Sensor-Kabelsystem bei Auftreten eines Fehlers in einer Phase nach ca. 300 µs alle Sensoradern des Kabelsystems simultan nur für die Dauer des Kurzschlusses jede Sensorphase über Thyristorschalter **15** am Kabelanfang und Kabelende zu erden, d. h. nach Kurzschlussende die Sensoradern ohne besondere Rückstellung automatisch wieder zum Messen freizuschalten.

[0013] Transienten bis 300 µs werden über die Ableiter **1** und **2** auf ein Betriebsniveau von 100 V geklemmt und Überspannungen, die länger als 300 µs anstehen, aktiven über eine Trigger-Niveau-Kontrollschaltung simultan alle Thyristorschalter **15**. Da Kabelanfang und Kabelende weit auseinanderliegen und mit keinerlei Steuerleitungen verbunden sind, wird mit unabhängigen Schutzbeschaltungen, **Fig.** 2 am Kabelanfang und **Fig.** 3 am Kabelende, gearbeitet, die jedoch quasi simultan auslösen. Die Sensordraht-Schutzbeschaltung kann, je nach Anzahl der Phasen einfach, zweifach oder dreifach ausgeführt werden. Im vorliegenden Beispiel für die gezeigte Sensordrahtschaltung gemäß **Fig.** 1 ist am Kabelanfang eine Dreifach-Schutzbeschaltung gemäß **Fig.** 2 und am Kabelende, da alle drei Sensoradern verbunden sind, eine Einfach-Schutzbeschaltung gemäß **Fig.** 3 verwendet.

[0014] Bei Messverfahren, die auch am Kabelende eine Widerstandsbeschaltung aufweisen (siehe DE 15 92 7972.7 und DE 195 44 391.8) ist ggf. je nach Hochohmigkeit der Widerstände auch am Kabelende eine Dreifach-Schutzbeschaltung erforderlich.

Funktion der Trigger-Niveau-Kontrolle

[0015] Im nicht gezündeten Normalbetrieb ist die Schutzbeschaltung im MΩ-Bereich hochohmig, d. h. die Elemente, die in **Fig.** 2 und 3 mit L_{S1} bis L_{S3} verbunden sind, belasten im gesperrten, nicht leitenden Zustand die Sensorader nicht, so dass die Schutzbeschaltung bei allen bekannten Sensordraht-Mantelortungsverfahren für Hochspannungskabel einsetzbar ist. Die maximal zulässige Betriebsspannung eines Sensordrahtes L_S, beim Dreifachkabelsystem L_{S1} bis L_{S3}, wird kontrolliert durch die gewählte Zündspannung der Transildioden **1**, die in Serie mit den Brückenschaltungen **3** gegen Erde geschaltet sind. Die Trisildioden und Brückenschaltungen sind bidirektional, also für beide Halbwellen der Wechselspannung geeignet. Die Gleichrichterbrücken **3** sind für schnelle Transienten als Kurzschluss anzusehen, da der gemeinsame Ladekondensator **4** für schnelle Anstiegszeiten den Gleichspannungsausgang der Brücken **3** kurzschließt. Hat eine der Transildioden **1** oder nacheinander mehrere einmal gezündet, so wird diese wie ein Schalter, der geschlossen hat, niederohmig. Damit fließt Strom über die Brücken **3** gegen Erde und begrenzt zunächst direkt die Sensordrahtwechselspannung. Die maximale Spannung ist durch die verwendete Trisildiode und durch den Innenwiderstand der Brückenschaltung definiert und sollte die Zündspannung der Trisildiode nicht wesentlich übersteigen. Da beim Stromfluss durch die Trisildioden **1** und damit in die Gleichrichterbrückenschaltungen **3** der Ladekondensator **4** mit Gleichstrom geladen wird, werden die Brückenschaltungen mit steigender Spannung U am Ladekondensator immer hochohmiger, d. h. auch die Spannung über den Wechselspannungseingängen der Brücken steigt. Damit die Wechselspannung an den Gleichrichterbrücken nicht unbegrenzt steigen kann, sind die Wechselspannungseingänge mit Transildioden **2**, die die Funktion einer bidirektionalen Z-Diode haben, überbrückt, so dass die Scheitelspannung der Wechselspannungshalbwellen an den Gleichrichterbrücken nicht größer werden können, als die gewählten Transildioden es mit ihrer vorgegebenen Brennspannung zulassen. Durch diese Maßnahme sind die Gleichrichterschaltungen, z. B. bei Verwendung von 1.5KE68CA-Schutzdioden, auf einen vorgegebenen Spannungswert von 68 V begrenzt. Die Transildioden sind als Stromshunt der Gleichrichterbrücken **3** zu sehen, d. h. Transienten- und sonstige Überspannungsströme werden über die Schutzdioden **2** gegen Erde abgeleitet, wobei der Spannungsabfall an der Transildiode **2** zur Speisung der Gleichrichterbrücken dient. Haben die Trisildioden **1** gezündet (z. B. bei 100 V), so bedeutet dies, dass die Brücken sofort nach Laden des Kondensators **4** mit maximaler und konstanter Spannung von beispielhaft 68 Vpp betrieben werden.

[0016] Da die Brückenspannung begrenzt ist, ist auch die positive Gleichspannung am Ladekondensator **4** auf einen etwa 1,5 V geringeren Wert begrenzt. Handelt es sich in den Sensordrähten nur um kurze Transientenstörungen, die nicht dauerhaft anstehen, wird der Ladekondensator über den Widerstand **5** wieder entladen. Dies ist erforderlich, damit sich die Spannung am Ladekondensator nicht nach und nach von einzelnen Transientenstörungen immer weiter aufbaut. Stehen Überspannungen länger als 100 µs an, wird die Ladespannung am Ladekondensator **4** zur Einleitung der Zündung der Thyristorschalter **15** benutzt. Die Spannung am Ladekondensator **4** wird über einen strombegrenzenden Widerstand **6** und eine Diac-Trigger-Diode **7** der Zündelektrode eines Steuerthyristors **8** zugeführt, der in Serie mit den Steuereingängen aller Leistungsthyristoren **15** für deren simultane Auslösung zuständig ist. Die Diac-Trigger-Diode **7** ist erforderlich, damit bei steigender Ladespannung am Kondensator **4** der Thyristor **8** nicht sofort zündet, sondern erst dann, wenn die Ladespannung einen Wert erreicht hat, der auch zur Ansteuerung aller Leistungsthyristoren **15** ausreicht. Wird die Zündspannung der Diac-Trigger-Diode **7** überschritten, so schaltet diese niederohmig durch und legt damit die Betriebsspannung des Ladekondensators **4** über den strombegrenzenden Widerstand **6** an die Zündelektrode des Thyristors **8**, so dass dieser durchschaltet und damit den Gleichstrom-Serienkreis mit den Leistungsthyristoren **15** über den Vorwiderstand **11** ebenfalls an die Betriebsspannung U des Ladekondensators **4** legt. Mit Triggerung des Steuerthyristors **8** werden somit auch die Leistungsthyristoren **15** schlagartig niederohmig leitend und legen die Sensordrähte L_{S1} bis L_{S3} auf Erdpotential. Durch die Serienschaltung der Steuereingänge der Leistungstyristorschalter **15** ist sichergestellt, dass alle Thyristorschalter simultan auslösen und dass ein relativ großer Steuerstrom für die niederohmigen Optokoppler nur 1fach anstatt 3fach aufgebracht werden muss, was wiederum für die Steuerelektronik, die ohne Hilfsenergie arbeitet, wichtig ist. Die höhere Steuerspannung aufgrund der Serienschaltung der Optokoppler spielt dabei keine Rolle, da die Ladespannung am Kondensator **4** auch für 3 Optokoppler groß genug ist. Damit die gemeinsame Steuerspannung an den Eingängen der Thyristorschalter **15** aufgrund der Serienschaltung sich auch gleichmäßig verteilt, d. h. das garantiert ist, dass an allen Thyristorschaltereingängen auch bei evtl. ungleichen Eingangswiderständen die gleiche Spannung steht, sind die Steuereingänge der Thyristorschalter **15** mit gleichgroßen Z-Dioden **12**, **13** und **14** beschaltet, die die einzelnen Steuer-

spannungen der Thyristorschalter im Zusammenwirken mit dem Vorwiderstand **11** konstant halten und somit für eine simultane Auslösung der Leistungsthyristorschalter sorgen, wodurch die Sensordrähte sofort auf Erde geschaltet werden.

[0017] Durch das Kurzschließen der Sensordrähte gegen Erde wird auch eine evtl. gefährlich hohe Spannung im Sensordraht kurzgeschlossen, so dass damit auch der erste Transientenschutz mit den vorgenannten Elementen **1** und **2**, der sofort wirksam wurde, wieder entlastet wird.

[0018] Kabelanfang und Kabelende sind mit getrennten Schutzschaltungen beschaltet. Die Schutzschaltungen kontrollieren einen Spannungsanstieg bezogen auf Erdpotential. Spricht z. B. die Schutzbeschaltung am Kabelende zuerst an, so wird das Sensordraht-Transformatorsystem am Kabelende auf Erde geschaltet, wodurch die Spannung am Kabelanfang gegen Erde bezogen steigt und somit schlagartig auch die Schutzbeschaltung am Kabelanfang auslöst, d. h. es ist immer garantiert, dass die Schutzbeschaltungen am Kabelanfang und Kabelende quasi gleichzeitig auslösen. Durch das Auslösen der Schutzbeschaltungen am Anfang und Ende der Kabel werden die Spannungen in den Sensordrähten kurzgeschlossen, womit sich die Steuerspannung der Schutzschaltungen selbst die Energiezufuhr abgräbt. Da die bidirektionalen Thyristorschalter **15** gemäß Thyristorfunktion zur Auslösung nur einen Triggerpuls benötigen, der über den Steuerthyristor **8** ausgelöst wird, bleiben die Thyristorschalter nach der Auslösung für die gesamte anstehende Wechselstromhalbwelle leitend und gehen im Nulldurchgang der Wechselspannung wieder in den Sperrzustand. Die nächste Halbwelle wird über die steigende Spannung in den nun freigeschalteten Sensordrähten mit Hilfe der Zündelektronik der Schutzbeschaltung erneut gezündet, sofern die zulässige Betriebsspannung wieder überschritten wird. Die Schutzbeschaltung sorgt also dafür, dass mit jeder Wechselspannungshalbwelle solange jeweils neu gezündet wird, bis in keiner Phase mehr eine Überspannung registriert wird. Damit ist sichergestellt, dass die Schutzbeschaltung nur solange aktiv ist, wie Transienten oder Überspannung durch Kurzschlussströme gegeben sind und das Kabelsystem permanent auf das Messsystem geschaltet sein kann, so dass kurze Störungen aufgrund einer Messsignalfilterung überhaupt nicht bemerkt werden.

Patentansprüche

1. Sensordraht Schutzbeschaltung für Hochspannungskabel, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensorader (L_S) am Kabelanfang und/oder Kabelende mit einem verzögerungsfrei ansprechenden Kurzschlussschalter (**12** bis **15**) verbunden ist, der einen voll elektronisch wirkenden Schutz sowohl für das Kabel gegen Isolationsdurchschlag der mitgeführten Sensorader als auch für das angeschlossene Sensordraht-Messsystem gegen Überspannungen, resultierend aus kurzen Transientenspannungsspitzen oder länger anstehender Überspannungen aufgrund von Kurzschlussströmen des Kabelsystems, bildet.
2. Sensordraht-Schutzbeschaltung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kurzschlussschalter (**12** bis **15**) derart ausgebildet ist, dass er den hochohmig isolierten Sensordraht nur im Fehlerfall für die Dauer der Überspannungsstörungen niederohmig gegen Erde kurzschließt und keiner besonderen Rückstellung bedarf.
3. Sensordraht-Schutzbeschaltung nach Anspruch 1 und 2, gekennzeichnet durch eine aktive elektronische Zündschaltung, die über Opto-Koppler die gesamte erforderliche Steuerenergie aus der Störwechselspannung des Sensordrahtes bzw. der Sensordrähte (L_S) gewinnt und ohne separate Versorgungsgleichspannung der Steuerelektronik auskommt.
4. Sensordraht-Schutzbeschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass am Kabelanfang und Kabelende jeweils getrennte Schutzbeschaltungen angeordnet sind, die ohne separate Steuerleitungen zur quasi-simultanen Aktivierung zusammenwirken, so dass der Sensordraht am Kabelanfang und Kabelende gegen Erde kurzgeschlossen wird und sich bei Überspannung wie die ebenfalls am Kabelanfang und -ende geerdeten Abschirmdrähte des Kabels verhält.
5. Sensordraht-Schutzbeschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Schutzschaltung (**1** bis **5**) für schnelle Transientenstörungen im ns- und µs-Bereich mit einer Hochleistungsschutzschaltung (**6** bis **15**) für langanstehende Überspannungen im ms- und s-Bereich im Sinne eines gestaffelten Schutzes gekoppelt ist, um bei Kurzschlussströmen des Kabelsystems die schnelle Transientenschutzbeschaltung bis zur Schnellabschaltung durch das Kraftwerk vor thermischer Dauerbelastung zu schützen.
6. Sensordraht-Schutzbeschaltung nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die die Sensordrähte belastende Impedanz der Schutzschaltung im Ruhezustand im MΩ-Bereich liegt.
7. Sensordraht-Schutzbeschaltung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei Mehrfach-Kabelsystemen die Opto-Koppler der Sensordraht-Schaltthyristoren in serieller Ansteuerung mit nur einer Zündschaltung simultan auslösbar sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

Nummer: DE 100 19 707 A1
Int. Cl.[7]: H 02 H 7/26
Offenlegungstag: 25. Oktober 2001

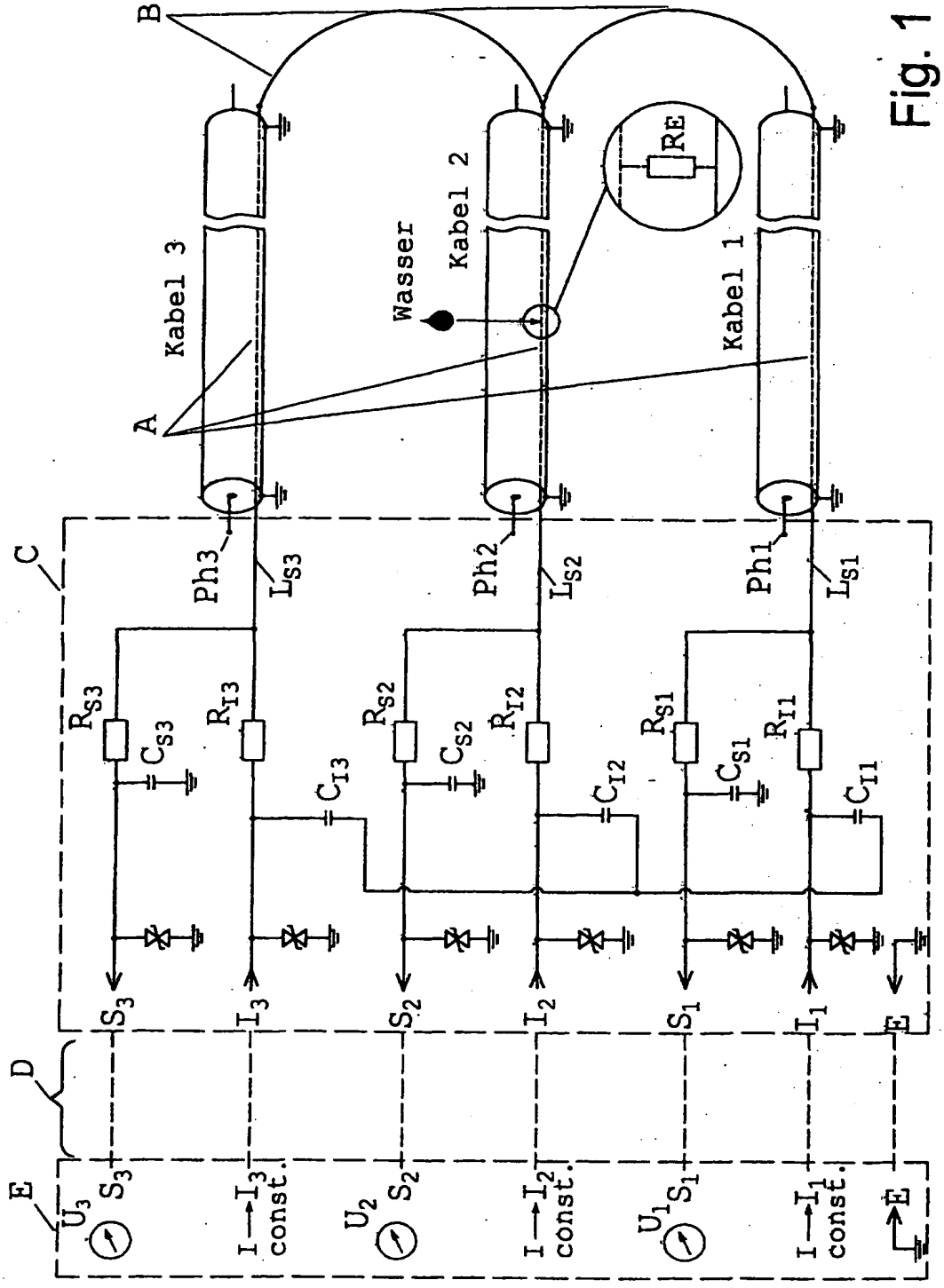


Fig. 1

Nummer: DE 100 19 707 A1
Int. Cl.[7]: H 02 H 7/26
Offenlegungstag: 25. Oktober 2001

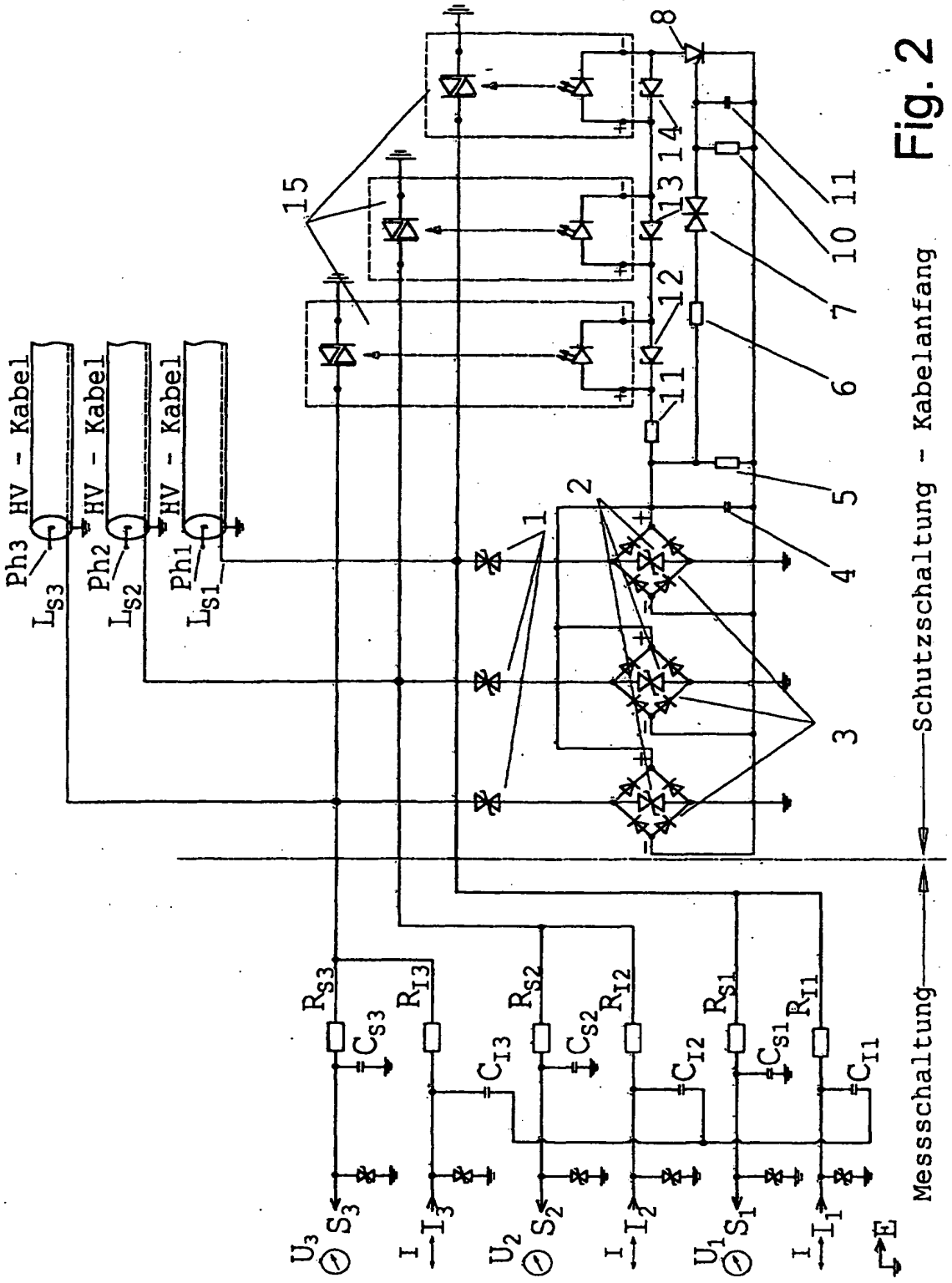


Fig. 2

Nummer: DE 100 19 707 A1
Int. Cl.[7]: H 02 H 7/26
Offenlegungstag: 25. Oktober 2001

Fig. 3

